



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application of

Inventors : Pierre Vadstrup
Serial No. : 10/621,642
Filed : July 17, 2003
Title : METHOD FOR DETECTING THE
MAGNETIC FLUX, THE ROTOR
POSITION AND/OR THE
ROTATIONAL SPEED

Group :
Examiner :
Docket : VOL 047 P2

<p>Certificate of Mailing</p> <p>I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, P. O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on <u>11/19/2003</u> (date)</p> <p><u>BARBARA A. LUFF</u> typed or printed name of person mailing paper or fee</p> <p><u><i>Barbara A. Luff</i></u> Signature</p>

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT
AND CLAIM TO PRIORITY**

Applicant(s), through its attorney, hereby claims, under 35 USC §119, the benefits of the filing date of their corresponding European patent application No. 02 015 956.2, filed July 18, 2002.

A certified copy of this European application is attached.

Respectfully submitted,

JACOX, MECKSTROTH & JENKINS

By *Matthew R. Jenkins*
Matthew R. Jenkins
Reg. No. 34,844

2310 Far Hills Building
Dayton, Ohio 45419-1575
A.C. 937-298-2811

November 9, 2003



-10/621,642



**Eur päisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office eur péen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02015956.2

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 02015956.2
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 18.07.02
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

GRUNDFOS A/S
Poul Due Jensens Vej 7-11
DK-8850 Bjerringbro
DANEMARK

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

Verfahren zum Erfassen des magnetischen Flusses der Rotorposition und/oder der
Drehzahl

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

H02K/

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

18. Juli 2002

Anmelder: Grundfos a/s

Titel: Verfahren zum Erfassen des magnetischen Flusses der
Rotorposition und/oder der Drehzahl**Beschreibung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erfassen des magnetischen Flusses der Rotorposition und/oder der Drehzahl des Rotors in einem Ein- oder Mehrphasenpermanentmagnet- oder synchronmotor oder -generator gemäß den im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen.

Magnetischer Fluss, Rotorposition und Drehzahl sind durch die an sich bekannten Statorspannungsgleichungen:

$$\text{Gleichung (1)} \quad L \cdot \dot{i}_\alpha = -R \cdot i_\alpha + p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + u_\alpha$$

$$\text{Gleichung (2)} \quad L \cdot \dot{i}_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + u_\beta$$

in denen	L	die Induktivität	
	i_α	der Strom in Richtung α	
	i_β	der Strom in Richtung β	
	\dot{i}_α	die zeitliche Ableitung des Stroms in Richtung α	
	\dot{i}_β	die zeitliche Ableitung des Stroms in Richtung β	
	R	der ohmsche Widerstand	
	p	die Polpaarzahl	
	ω	die Drehzahl des Rotors	
	$\psi_{m\alpha}$	der magnetische Fluss in Richtung α	
	$\psi_{m\beta}$	der magnetische Fluss in Richtung β	
	u_α	die Spannung in Richtung α	
	u_β	die Spannung in Richtung β	sind,

definiert. Wie sich aus diesen Gleichungen ergibt, können die vorge-
nannten Größen ermittelt werden, wenn Spannung und Strom in den
5 Richtungen α und β bekannt sind. Letztere können als elektrische Daten
in einfacher Weise erfasst werden. Allerdings ist dies nach dem Stand
der Technik nur möglich, wenn der Betrag des magnetischen Flusses als
konstant angenommen wird, da sonst das Gleichungssystem aufgrund
zu vieler Unbekannter nicht eindeutig lösbar ist. Da der magnetische
10 Fluss tatsächlich aber nicht konstant ist, sondern der Betrag über Zeit
und Rotorposition variiert, ist dieses bekannte Verfahren fehlerbehaftet,
was dazu führt, dass es für den Einsatz im Steuerungs- und Regelungs-
prozessen des Motors nur unbedingt geeignet ist.

15 Moderne Mehrphasenpermanentmagnetmotoren sind heutzutage
häufig mit Leistungselektronik versehen, d. h. die Kommutierung erfolgt
elektronisch. Für die Steuerung dieser Kommutierung ist allerdings die
Kenntnis der aktuellen Rotorposition von ganz entscheidender Bedeu-
tung, nicht nur um den Motor mit einem hohen Wirkungsgrad betreiben
20 zu können, sondern auch um die empfindlichen Bauteile der Leistungs-
elektronik zu schützen und ein besseres dynamisches Verhalten des An-
triebs zu erzielen.

Die Drehzahlmessung kann zwar über eine externe Messanordnung
25 noch vergleichsweise einfach erfolgen. Diese exakte Bestimmung der
Rotorposition hingegen ist aufwendig.

Andererseits ist man bemüht, diese Werte nach Möglichkeit rechne-
risch zu ermitteln, da aufgrund der im Steuer- und Regelteil der Motor-
elektronik regelmäßig vorhandenen digitalen Elektronik, entsprechende
30 Rechenleistung zur Verfügung steht oder zumindest mit geringem Auf-
wand zu Verfügung stellbar ist. Entsprechende Programme zur rechne-

rischen Ermittlung könnten also ohne größeren Aufwand durch Softwareimplementierung integriert werden.

5 Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes Verfahren zur Erfassung des magnetischen Flusses, der Rotorposition und/oder der Drehzahl des Rotors in einem Ein oder Mehrphasenpermanentmagnet- oder synchronmotor oder -generator zu verbessern.

10 Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung angegeben.

15 Grundgedanke der vorliegenden Erfindung ist es, beim Verfahren zum Erfassen der vorgenannten Größen die an sich bekannten Statorspannungsgleichungen einzusetzen, jedoch anders als im Stand der Technik nicht den magnetischen Fluss konstant zu setzen, sondern die Energieverhältnisse in dem Magneten des Rotors mit einfließen zu lassen, um so die vorgenannten Größen, insbesondere die Rotorposition bzw. deren
20 zeitliche Ableitung, die Drehzahl genauer bestimmen zu können.

Die vorliegende Erfindung ist sowohl bei Einphasen- als auch bei Mehrphasenpermanentmagnet- oder -synchronmotoren sowie auch entsprechenden -generatoren anwendbar. Soweit es einphasige Motoren
25 oder Generatoren betrifft, fällt eine der beiden Statorspannungsgleichungen weg. Im Übrigen wird bei zwei oder mehrphasigen Motoren oder Generatoren grundsätzlich mit dem Statorspannungsgleichung für zweiphasige Motoren und Generatoren gerechnet, wobei bei drei- und mehrphasigen Motoren rechnerisch in an sich bekannter Weise auf ein
30 zweiphasiges Modell reduziert bzw. transformiert wird, insofern müssen dann messtechnisch erfasste Werte entsprechend auf ein zweiphasiges Modell umgerechnet werden.

Das vorliegende Verfahren ist insbesondere für Permanentmagnetmotoren vorgesehen, kann jedoch in gleicher Weise auch bei Synchronmotoren oder Generatoren angewendet werden, wobei bei Synchronmotoren oder Generatoren der durch die Rotorspule gebildete Magnet anstelle des Permanentmagneten tritt. Eine Generatoranwendung in diesem Sinne kann auch im Zusammenhang mit der Steuerung von mit Leistungselektronik betriebenen Motoren gegeben sein, wenn diese im Generatorbetrieb ins Netz speisen um die Rotorposition des Netzgenerators zu ermitteln.

10

Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch für Generatoren angewendet werden, beispielsweise bei der Steuerung

15 In Fig. 1 ist ein solches Ersatzschaltbild eines zweiphasigen Permanentmagnetmotors dargestellt, es sind zwei um 90° versetzt zueinander angeordneten Phasen α und β in einem Stator 1 vorgesehen, die durch zwei Spulen 3 und 4 symbolisiert sind. Innerhalb dieses Stators 1 ist ein Rotor 2 angeordnet, der einen Permanentmagneten 5 mit diametraler Polaritätsverteilung N und S aufweist, der innerhalb des Stators 1 rotierend gelagert ist.

20

Um die Energieverhältnisse im Magneten 5 des Rotors 2 zu berücksichtigen, werden die folgenden Gleichungen (3) und (4) eingesetzt.

$$\text{Gleichung (3)} \quad \dot{\psi}_{m\alpha} = -p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta}$$

$$\text{Gleichung (4)} \quad \dot{\psi}_{m\beta} = p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha}$$

wobei

$\dot{\psi}_{m\alpha}$ die zeitliche Ableitung von $\psi_{m\alpha}$ und
 $\dot{\psi}_{m\beta}$ die zeitliche Ableitung von $\psi_{m\beta}$ sind.

30

Die Besonderheit dieser Rotorenergiegleichungen liegt darin, dass in die zeitliche Ableitung des magnetischen Flusses in α - Richtung der magnetische Fluss in β - Richtung einfließt und umgekehrt.

5

Hierdurch ergibt sich ein rechnerisches Motormodell, mit dem beispielsweise wie anhand von Fig. 2 veranschaulicht, elektrische, magnetische und/oder mechanische Werte des Motors ermittelt werden können.

10

In den folgenden in den Figuren blockdiagrammmäßig dargestellten Motormodellen ist mit \wedge jeweils ein errechneter Wert gekennzeichnet, wohingegen bei den ohne \wedge gekennzeichneten Werten es sich um gemessene Werte handelt.

15

Es versteht sich, dass von den einleitend genannten Größen (magnetischer Fluss, Rotorposition, Drehzahl) jeweils eine ermittelt werden kann, wenn das durch den Block 6 in Fig. 2 symbolisierte Motormodell verwendet wird. Dieses durch den Block 6 symbolisierte Motormodell besteht aus den Gleichungen (1) bis (4), mit denen einer der vorgenannten Werte rechnerisch vergleichsweise genau ermittelt werden kann.

20

Bei dem Verfahren gemäß Fig. 2 werden die Spannungen u_α und u_β , d. h. die Statorspannungen in α - und β - Richtung gemessen oder anderweitig berechnet oder zur Verfügung gestellt, ebenso ω die Rotordrehzahl. Diese Größen werden in die Gleichungen (1) bis (4) eingesetzt, so dass rechnerisch die Geschwindigkeit des magnetischen Flusses ω_{flux} , die Motorströme i_α in Richtung α und i_β in Richtung β sowie der magnetische Fluss ψ_α in Richtung α und ψ_β in Richtung β ermittelt werden können. Die entsprechend rechnerisch ermittelten Werte sind mit \wedge gekennzeichnet:

25

30

$$\text{Gleichung (1)} \quad L \cdot \dot{\hat{i}}_{\alpha} = -R \cdot \hat{i}_{\alpha} + p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\beta} + u_{\alpha}$$

$$\text{Gleichung (2)} \quad L \cdot \dot{\hat{i}}_{\beta} = -R \cdot \hat{i}_{\beta} - p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha} + u_{\beta}$$

$$\text{Gleichung (3)} \quad \dot{\hat{\psi}}_{m\alpha} = -p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\beta}$$

$$\text{Gleichung (4)} \quad \dot{\hat{\psi}}_{m\beta} = p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha}$$

Aus dem magnetischen Fluss ψ_{α} in Richtung α und ψ_{β} in Richtung β kann dann mittels eines Winkelkalkulators 7, der die geometrische Be-
 5 zeichnung gemäß

$$\text{Gleichung (5)} \quad \rho = \frac{1}{p} \cdot \text{Arctg} \left(\frac{\psi_{m\beta}}{\psi_{m\alpha}} \right)$$

verwendet, die Position ρ des magnetischen Flusses ermittelt werden. In diesem grundlegenden Motormodell 6 wird die Rotorposition durch Gleichsetzung mit der Position des magnetischen Flusses bestimmt, da-
 10 von ausgehend, dass diese real stets übereinstimmen.

Da dieses Motormodell 6 in seiner einfachsten Form auch nur eine rechnerische Annäherung an die tatsächlichen Werte darstellt, kann es durch weitere Maßnahmen verbessert werden. Eine solche Verbesserung stellt beispielsweise das anhand von Fig. 3 dargestellte Verfahren
 15 dar. Wie die Fig. 3 zeigt, ist auch dort das grundlegende Motormodell 6, bestehend aus den Gleichungen (1) bis (4) zugrunde gelegt, wobei die Statorspannungen u in Richtung α und β , u_{α} und u_{β} sowie die Rotorgeschwindigkeit ω beispielsweise als gemessene Größen in das Modell einfließen. Im Unterschied zu dem Verfahren nach Fig. 2 wird jedoch im
 20 Modell 6a nach Fig. 3 der Statorstrom in α - und β -Richtung, also i_{α} und i_{β} zusätzlich erfasst, mit dem durch das Motormodell 6a ermittelten rechnerischen Stromwerten \hat{i}_{α} und \hat{i}_{β} durch Subtraktion verknüpft (dies ist

$$\text{Gleichung (1a)} \quad L \cdot \dot{\hat{i}}_\alpha = -R \cdot i_\alpha + p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\beta} + u_\alpha + v_{1\alpha}$$

$$\text{Gleichung (2a)} \quad L \cdot \dot{\hat{i}}_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha} + u_\beta + v_{1\beta}$$

$$\text{Gleichung (3a)} \quad \dot{\hat{\psi}}_{m\alpha} = -p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\beta} + v_{2\alpha}$$

$$\text{Gleichung (4a)} \quad \dot{\hat{\psi}}_{m\beta} = p \cdot \hat{\omega} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha} + v_{2\beta}$$

in denen $v_{1\alpha}, v_{1\beta}, v_{2\alpha}, v_{2\beta}$ Korrekturglieder sind,

wobei die Korrekturglieder durch einen Korrekturfaktor und die Differenz der errechneten elektrischen Werte und der gemessenen elektrischen Werte wie folgt gebildet sind:

$$5 \quad v_{1\alpha} = K_i \cdot (\hat{i}_\alpha - i_\alpha)$$

$$v_{2\alpha} = -K_\psi \cdot (\hat{i}_\beta - i_\beta)$$

$$v_{1\beta} = K_i \cdot (\hat{i}_\beta - i_\beta)$$

$$v_{2\beta} = K_\psi \cdot (\hat{i}_\alpha - i_\alpha)$$

Wie aus den vorstehenden Gleichungen ersichtlich, werden die Korrekturglieder v_2 so gebildet, dass sie in den Gleichungen (3a) und (4a) in der einen Phase mittels der Differenz zwischen errechneten und gemessenen Strömen der anderen Phase gebildet wird. Die Größen K_i und K_ψ bilden dabei jeweils einen konstanten Faktor.

15 In Fig. 4 ist beispielhaft eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, bei dem neben dem korrigierten Motormodell 6a gemäß Fig. 3 noch eine Weiterbildung dahingehend vorgesehen ist, dass die Rotordrehzahl ω rechnerisch ermittelt wird. Bei den Motormodellen gemäß den Fig. 2 und 3 fließt die Rotordrehzahl ω als Eingangsgröße ein. Dann wird die Drehzahl üblicherweise sensorisch erfasst, und zwar vorzugsweise mit Hilfe eines Hallsensors, wie dies an sich auch bekannt ist.

25 Es gibt jedoch Konstellationen, bei denen auch die Rotordrehzahl rechnerisch ermittelt werden muss oder bei der die sensorisch ermittelten Messwerte nicht hinreichend genau sind oder zeitlich in nur vergleichsweise großen Abständen zur Verfügung stehen. Für diese Fälle ist in ei-

in Fig. 3 durch die subtraktorische Verknüpfung 8 dargestellt) und der daraus resultierende Wert einem Korrekturglied 9 zugeführt, der in das Motormodell 6a korrigierend mit einfließt. Auf diese Weise wird ein verfeinertes Motormodell 6a und somit ein verbessertes Verfahren zur Ermittlung der vorgenannten Werte zur Verfügung gestellt, das aus den

5 Gleichungen (1a), (2a), (3a) und (4a) besteht:

$$\text{Gleichung (1a)} \quad L \cdot \dot{i}_\alpha = -R \cdot i_\alpha + p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + u_\alpha + v_{1\alpha}$$

$$\text{Gleichung (2a)} \quad L \cdot \dot{i}_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + u_\beta + v_{1\beta}$$

$$\text{Gleichung (3a)} \quad \dot{\psi}_{m\alpha} = -p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + v_{2\alpha}$$

$$\text{Gleichung (4a)} \quad \dot{\psi}_{m\beta} = p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + v_{2\beta}$$

in denen $v_{1\alpha}, v_{1\beta}, v_{2\alpha}, v_{2\beta}$ Korrekturglieder sind.

In dem Verfahren gemäß Fig. 3 sind die gemessenen Statorströme in α - und β - Richtung im Vergleich zu den errechneten Strömen in α und β Richtung als Korrekturglied vorgesehen. Es versteht sich, dass dies nur beispielhaft zu verstehen ist, es können in gleicher Weise die Motorströme in das Motormodell 6 bzw. 6a einfließen und die Motorspannungen rechnerisch ermittelt und gegebenenfalls durch Vergleich mit den tatsächlichen Spannungen als Korrekturglied einfließen. Es können auch

10 mehrere Korrekturglieder vorgesehen sein, die auf der Basis mehrerer elektrischer Größen aufgebaut sind.

Für das anhand von Fig. 3 beispielhaft dargestellte und vorbeschriebene Verfahren ergeben sich also beispielhaft die folgenden Gleichungen

20

ner Weiterbildung der Erfindung ein Adaptionsblock 10 vorgesehen, der mittels eines Drehzahlkorrekturglieds 11, in dem die Differenz zwischen einer angenommen oder errechneten Drehzahl und der vom Motormodell 6a errechneten Flussgeschwindigkeit ω_{flux} gebildet wird, die ermittelte Drehzahl an die tatsächliche Rotorgeschwindigkeit annähert bis das Drehzahlkorrekturglied 11 den Wert Null annimmt. Dieses Korrekturglied 11 ist in Fig. 4 als Ergebnis der im Knotenpunkt 14 erfolgten subtraktorischen Verknüpfung dargestellt und geht von der Annahme aus, dass die Geschwindigkeit des magnetischen Flusses und die Rotorgeschwindigkeit stets übereinstimmen müssen. Im Adaptionsblock 10 wird also stets die mittels des Drehzahlkorrekturglieds 11 ermittelte Differenz ggf. unter Berücksichtigung eines Korrekturfaktors zu der zuvor ermittelten Drehzahl addiert und als neue errechnete Drehzahl ausgegeben. Diese neue errechnete Drehzahl fließt dann einerseits in das Motormodell 6a ein und steht andererseits am Knotenpunkt 14 an, der aufgrund der in das Motormodell 6a eingeflossenen neuen Drehzahl auch eine neue Geschwindigkeit des magnetischen Flusses erhält und dadurch ein neues Drehzahlkorrekturglied 11 ausgibt, das den vorbeschriebenen Annäherungsprozeß durch den Adaptionsblock 10 erneut einleitet, bis schließlich das Korrekturglied 11 den Wert Null annimmt, also die Geschwindigkeit des magnetischen Flusses, wie sie aus dem Motormodell 6a ermittelt wird, und die Rotorgeschwindigkeit, also die errechnete Drehzahl des Rotors, übereinstimmen.

Innerhalb des Motormodells 6a wird die Geschwindigkeit des magnetischen Flusses durch zeitliche Ableitung der ermittelten Position des magnetischen Flusses gebildet. Leitet man die Gleichung (5) also zeitlich ab, um die Geschwindigkeit des magnetischen Flusses zu erhalten und setzt man die Gleichungen (3a) und (4a) in diese abgeleitete Gleichung (5) ein, so ergibt sich die Geschwindigkeit des magnetischen Flusses wie folgt:

Gleichung (6)
$$\hat{\rho} = \omega_{Flux} = \hat{\omega} + \frac{1}{p} \cdot \frac{v_{2\beta} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha} - v_{2\alpha} \cdot \hat{\psi}_{m\beta}}{\hat{\psi}_{m\alpha}^2 + \hat{\psi}_{m\beta}^2}$$

wobei $\frac{1}{p} \cdot \frac{v_{2\beta} \cdot \hat{\psi}_{m\alpha} - v_{2\alpha} \cdot \hat{\psi}_{m\beta}}{\hat{\psi}_{m\alpha}^2 + \hat{\psi}_{m\beta}^2}$ das Drehzahlkorrekturglied 11 darstellt.

Der Adoptionsblock 10 bildet Teil eines Annäherungsprozesses, bei dem die angenommene oder errechnete Drehzahl mit Hilfe des Motormodells 6a, des Drehzahlkorrekturgliedes 11 in Übereinstimmung mit der tatsächlichen Rotordrehzahl gebracht wird, bis das Drehzahlkorrekturglied zu Null wird.

Zusätzlich kann die Differenz zwischen der im Adoptionsblock 10 errechneten Rotordrehzahl und einer gemessenen Rotordrehzahl berücksichtigt werden, ein solches zusätzliches Drehzahlkorrekturglied 15 wird im Knotenpunkt 12 additiv mit dem Drehzahlkorrekturglied 11 verknüpft, was sich formelmäßig wie folgt darstellt :

15 Gleichung (7)
$$\Delta\omega_{mess} = K_v \cdot (\hat{\omega} - \omega_{Rotor})$$
 wobei $\Delta\omega_{mess}$ das zusätzliche Drehzahlkorrekturglied 15 bildet und K_v eine Konstante.

Wenn keine gemessene Rotordrehzahl zur Verfügung steht ist dieses zusätzliche Drehzahlkorrekturglied 15 gleich Null. K_v stellt einen Verstärkungsfaktor dar, mit dem dieses zusätzliche Drehzahlkorrekturglied 15 einfließt.

Zusätzlich kann gemäß Figur 5 die Drehzahl auch mittels eines Systemdrehzahländerungskorrekturglieds 13, welches aus einem Drehzahlmodell abgeleitet sein kann, bestimmt werden. Das Verfahren unterscheidet sich von dem anhand von Figur 4 vorbeschriebenen dadurch, dass

Wenn der Motor beispielsweise mit konstanter Geschwindigkeit läuft und das Drehzahlmodell zur Ermittlung der Drehzahl herangezogen wird, dann wird die Gleichung (8) Null ergeben, so dass dann das Drehzahlmodell im eigentlichen Sinne gar nicht zur Anwendung kommt, sondern stattdessen die Drehzahl wie anhand von Figur 4 beschrieben ermittelt wird. Die Annahme, dass der Motor mit konstanter Drehzahl läuft, geht daher nicht über das anhand von Figur 4 beschriebene hinaus.

- Die Gleichung (8) kann hingegen durch bestimmte Lastannahmen, beispielsweise durch den Lastzustand $M_L = 0$ oder konst. vereinfacht werden. Das Lastmoment ist häufig nicht bekannt oder nur aufwändig ermittelbar. In vielen Fällen kann jedoch ein konstantes Lastmoment angenommen werden. Bei dieser Annahme hat das Systemdrehzahländerungskorrekturglied 13 dann folgende Form :

Gleichung (9)
$$\Delta\omega_{\text{System}} = \frac{1}{J} \cdot (M - K_4) \text{ wobei}$$

$\Delta\omega_{\text{System}}$ - das Systemänderungskorrekturglied und
 K_4 - die Konstante sind.

Die Konstante K_4 ist Null, wenn das Lastmoment zu Null angenommen wird. Im Übrigen ist die Konstante K_4 für den jeweiligen Aggregattyp und -einsatz vorab zu ermitteln.

Das Antriebsmoment ist durch die Gleichung (10) bestimmt:

Gleichung (10)
$$M = K_2 \cdot (\psi_{m\alpha} \cdot i_\beta - \psi_{m\beta} \cdot i_\alpha),$$

in der K_2 eine Konstante ist,

Der in der Klammer stehende Term in Gleichung (10) ist bereits aus dem Motormodell 6a bekannt. Setzt man die Gleichung (10) in die Gleichung (9) ein, so wird ersichtlich, dass man für diesen Fall (Annahme, dass das Lastmoment Null oder konstant ist) das Systemänderungs-

neben dem Adaptionblock 10 ein aus dem Drehzahlmodell abgeleitetes Systemdrehzahländerungskorrekturglied 13 tritt.

Das Drehzahlmodell beinhaltet weitere Informationen über die mechanischen Zusammenhänge des Antriebssystems. Zweckmäßigerweise wird die Veränderung der Drehzahl, also die zeitliche Änderung der Rotorgeschwindigkeit durch eine mechanische Zustandsgleichung ausgedrückt, welche die vorerwähnten mechanischen Zusammenhänge berücksichtigt. Die Änderung der Drehzahl kann dabei durch folgende Gleichung im Drehzahlmodell 13 berücksichtigt werden :

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} \cdot (M - M_L)$$

Gleichung (8)

in der

<i>M</i>	<i>das antreibende Moment</i>
<i>M_L</i>	<i>das Lastmoment</i>
<i>J</i>	<i>das Massenträgheitsmoment der rotierenden Last sind.</i>

Diese an sich bekannte Zustandsgleichung besagt, dass eine Drehzahländerung nur dann erfolgt, wenn das Antriebsmoment größer als das Lastmoment ist oder umgekehrt, und dass diese Änderung dann abhängig von dem Differenzmoment sowie der dem Massenträgheitsmoment der rotierenden Last ist.

Diese zusätzliche Information führt in Verbindung mit dem Adaptionblock 10 bei sich ändernder Drehzahl schneller zum Ergebnis, bei dem die errechnete Drehzahl des Rotors der tatsächlichen Drehzahl entspricht und eignet sich somit besonders für hochdynamische Antriebsaufgaben. Das Drehzahlmodell setzt jedoch voraus, dass entsprechende mechanische oder elektrische Größen zum Beispiel durch Messen oder in anderer Weise zur Verfügung stehen. Dabei kann das Drehzahlmodell ggf. auch durch geschickt zu treffende Annahmen vereinfacht werden.

korrekturglied 13 aus dem Motormodell 6a heraus berechnen kann. Man kann also ohne weitere Messung dieses Korrekturglied 13 bestimmen und somit die Drehzahl des Rotors schneller bzw. genauer berechnen. Es ist also besonders günstig, wenn das Antriebsmoment aus den
 5 aus dem Motormodell 6a abgeleiteten Größen bestimmt werden kann.

Wird der Motor beispielweise in einem Kreislumpenaggregat eingesetzt, so kann das Lastmoment auf einfache Weise rechnerisch ermittelt werden, denn es ist durch die Gleichung (11) bestimmt:

10

$$\begin{array}{ll} \text{Gleichung (11)} & M_L = K_1 \cdot \omega^2, \\ \text{in der} & K_1 \text{ eine Konstante ist,} \end{array}$$

die eine Beziehung zur Rotordrehzahl schafft. Auch hier können aus dem Motormodell 6a abgeleitete Größen in das Drehzahlmodell einfließen ohne dass weitere mechanische oder elektrische Messungen erforderlich sind.
 15

Ungeachtet dessen, ob die Drehzahl nur mittels des Adaptionmodells 10 oder ergänzend auch Berücksichtigung eines Drehzahlmodells ermittelt wird, kann auch eine gemessene Drehzahl mit einfließen um schneller zum gewünschten Ergebnis zu gelangen oder die Genauigkeit der errechneten Werte zu erhöhen. Eine solche schnelle und genaue Erfassung von Motorbetriebsgrößen, wie sie durch das vorbeschriebene erfindungsgemäße Verfahren erfolgen können, ist die Voraussetzung für
 20 eine dynamische und stabile Motoransteuerung.
 25

Die vorbeschriebenen Verfahren können ohne weiteres softwaremäßig in eine digitale Motorelektronik implementiert werden. Das ständige Erfassen und Speichern der entsprechenden elektrischen Werte des Motors, also der Motorströme und Spannungen zählt heute zum angewandten Stand der Technik, diese Daten stehen also steuerungsseitig
 30

ohnehin zur Verfügung, so dass die vorliegende Erfindung ggf. ohne bauliche Veränderung innerhalb der digitalen Motorsteuerung angewendet werden kann um diese zu verbessern.

5

Bezugszeichenliste

	1	-	Stator	
5	2	-	Rotor	
	3	-	Spule	
	4	-	Spule	
	5	-	Permanentmagnet	
	6	-	Motormodell	6a in Fig.
10	7	-	Winkelkalkulator	
	8	-	Verknüpfung	
	9	-	Korrekturglied	
	α	-	Richtung	
	β	-	Richtung	
15	N	-	Nordpol des Magneten	
	S	-	Südpol des Magneten	
	10	-	Adaptionsblock	
	11	-	Drehzahlkorrekturglied	
	12	-	Knotenpunkt	
20	13	-	Systemdrehzahländerungskorrekturglied	
	14	-	Knotenpunkt	
	15	-	zusätzliches Drehzahlkorrekturglied	

Ansprüche

1. Verfahren zum Erfassen des magnetischen Flusses, der Rotorposition und/oder der Drehzahl des Rotors in einem Ein- oder Mehrphasenpermanentmagnet- oder -synchronmotor oder -generator unter Verwendung der Statorspannungsgleichungen

$$\text{Gleichung (1)} \quad L \cdot \dot{i}_\alpha = -R \cdot i_\alpha + p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + u_\alpha$$

$$\text{Gleichung (2)} \quad L \cdot \dot{i}_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + u_\beta$$

<i>in denen</i>	<i>L</i>	<i>die Induktivität</i>	
	<i>i_α</i>	<i>der Strom in Richtung α</i>	
	<i>i_β</i>	<i>der Strom in Richtung β</i>	
	<i>ḡ_α</i>	<i>die zeitliche Ableitung des Stroms in Richtung α</i>	
	<i>ḡ_β</i>	<i>die zeitliche Ableitung des Stroms in Richtung β</i>	
	<i>R</i>	<i>der ohmsche Widerstand</i>	
	<i>p</i>	<i>die Polpaarzahl</i>	
	<i>ω</i>	<i>die Drehzahl des Rotors</i>	
	<i>ψ_{mα}</i>	<i>der magnetische Fluss in Richtung α</i>	
	<i>ψ_{mβ}</i>	<i>der magnetische Fluss in Richtung β</i>	
	<i>u_α</i>	<i>die Spannung in Richtung α</i>	
	<i>u_β</i>	<i>die Spannung in Richtung β</i>	<i>sind,</i>

dadurch gekennzeichnet, dass bei den Bestimmungen die Energieverhältnisse des Rotors (2) mit berücksichtigt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Energieverhältnisse im Magneten (5) des Rotors (2) durch folgende Energiegleichungen des Rotors berücksichtigt werden:

$$\text{Gleichung (3)} \quad \dot{\psi}_{m\alpha} = -p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta}$$

$$\text{Gleichung (4)} \quad \dot{\psi}_{m\beta} = p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha}$$

wobei

$\dot{\psi}_{m\alpha}$ die zeitliche Ableitung von $\psi_{m\alpha}$ und
 $\dot{\psi}_{m\beta}$ die zeitliche Ableitung von $\psi_{m\beta}$ sind.

10

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das durch die Gleichungen (1) bis (4) definierte Motormodell in Abhängigkeit von einem Vergleich zwischen errechneten Modellwerten (\wedge) und gemessenen elektrischen und/oder mechanischen Werten mittels mindestens eines Korrekturglieds (9) korrigiert wird, so dass sich folgende Gleichungen ergeben:

15

$$\text{Gleichung (1a)} \quad L \cdot \dot{i}_\alpha = -R \cdot i_\alpha + p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + u_\alpha + v_{1\alpha}$$

$$\text{Gleichung (2a)} \quad L \cdot \dot{i}_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + u_\beta + v_{1\beta}$$

$$\text{Gleichung (3a)} \quad \dot{\psi}_{m\alpha} = -p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + v_{2\alpha}$$

$$\text{Gleichung (4a)} \quad \dot{\psi}_{m\beta} = p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + v_{1\beta}$$

in denen $v_{1\alpha}, v_{1\beta}, v_{2\alpha}, v_{1\beta}$ Korrekturglieder sind.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die gemessenen elektrischen Werte die Motorströme sind.

20

5. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturglieder (9) aus je einem Korrekturfaktor und der Differenz zwischen gemessenen und errechneten Motorströmen gebildet sind.
- 5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturglieder (9) in den Gleichungen (3a) und (4a) in der einen Phase mittels der Differenz zwischen gemessenen und errechneten Strömen der anderen Phase gebildet wird, wobei das Korrekturglied in Gleichung (3a)
10 mit negativem Vorzeichen eingeht.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl sensorisch erfasst wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl mit Hilfe eines Hallsensors ermittelt wird.
- 15 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl rechnerisch ermittelt wird, derart, dass die Differenz zwischen der Flussgeschwindigkeit und einer angenommenen Rotorgeschwindigkeit oder daraus abgeleiteter Größen als Drehzahlkorrekturglied (11) gebildet wird
20 und die aktuelle Drehzahl durch einen Annäherungsprozeß daraus ermittelt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Drehzahlkorrekturglied (11) mittels einer Drehzahlmessung korrigiert wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die angenommene Rotordrehzahl mittels des Drehzahlkorrekturglieds (11) in einem Adapterblock (10) der aktuellen Drehzahl angepasst wird.
- 5 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die angenommene Drehzahl mittels des Drehzahlkorrekturglieds (11) in einem Drehzahlmodell an die aktuelle Drehzahl angepasst wird.
- 10 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der Flussgeschwindigkeit die Position des magnetischen Flusses und zwar mittels der Gleichung

$$\text{Gleichung} \quad (5) \quad \rho = \frac{1}{p} \cdot \text{Arctg} \left(\frac{\psi m \beta}{\psi m \alpha} \right)$$

bestimmt wird.

- 15 14. Verfahren nach Anspruche 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Gleichung (5) zeitlich abgeleitet und die Gleichungen (3a) und (4a) (zur rechnerischen Ermittlung der Drehzahl) in die abgeleitete Gleichung (5) eingesetzt werden.]
- 20 15. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass im Drehzahlmodell die zeitliche Ableitung, vorzugsweise der ersten Ordnung, der Drehzahl verwendet wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Drehzahlmodell durch eine mechanische Zustandsgleichung vorzugsweise der Form

Gleichung (8) $\dot{\omega} = \frac{1}{J} \cdot (M - M_L),$
in der M das antreibende Moment
 M_L das Lastmoment
 J das Massenträgheitsmoment der rotierenden Last sind,

5

gebildet ist.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Lastmoment gleich Null gesetzt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass auch das Antriebsmoment gleich Null gesetzt wird.

10

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Lastmoment durch die

Gleichung (11) $M_L = K_1 \cdot \omega^2,$
in der K_1 eine Konstante ist,

gebildet ist.

- 15 20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Antriebsmomentmoment durch die

Gleichung (10)
in der

$M = K_2 \cdot (\psi_{m\alpha} \cdot i_\beta - \psi_{m\beta} \cdot i_\alpha),$
 K_2 *eine Konstante ist,*

definiert ist.

18. Juli 2002

Zusammenfassung

Das Verfahren dient zum Erfassen des magnetischen Flusses, der Rotorposition und/oder der Drehzahl des Rotors in einem Ein- oder Mehrphasenpermanentmagnet- oder -synchronmotor oder -generator unter Verwendung der Statorspannungsgleichungen

$$\text{Gleichung (1)} \quad L \cdot \dot{i}_\alpha = -R \cdot i_\alpha + p \cdot \omega \cdot \psi_{m\beta} + u_\alpha$$

$$\text{Gleichung (2)} \quad L \cdot \dot{i}_\beta = -R \cdot i_\beta - p \cdot \omega \cdot \psi_{m\alpha} + u_\beta$$

Es ist dadurch gekennzeichnet, dass bei den Bestimmungen die Energieverhältnisse des Rotors mit berücksichtigt werden, wodurch eine im Vergleich zu bekannten Verfahren wesentlich höhere Genauigkeit erreicht wird

18. Juli 2002

Fig. 1

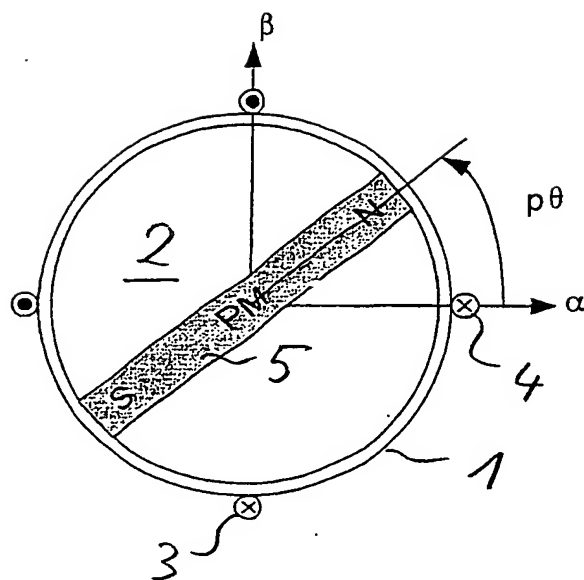


Fig. 2

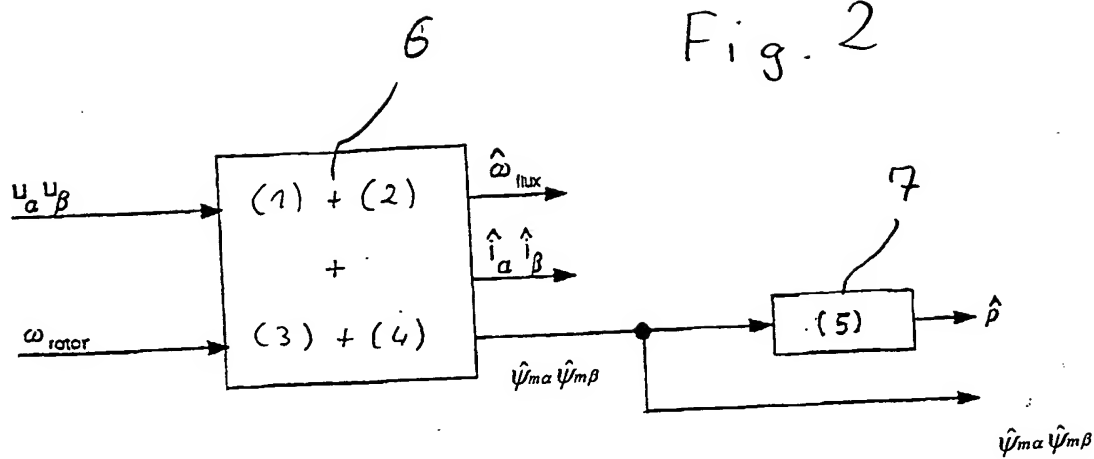


Fig. 3

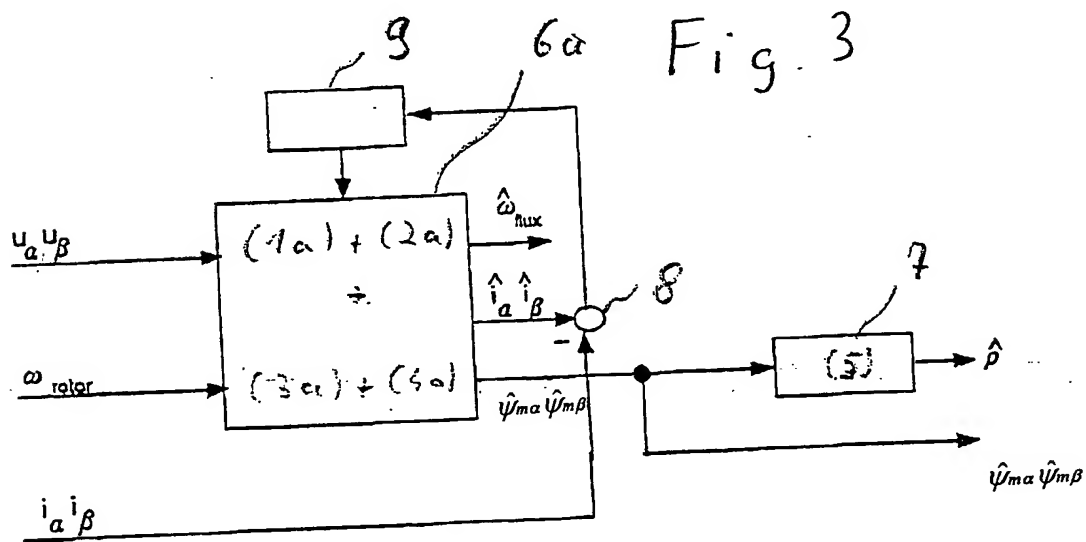


Fig. 4

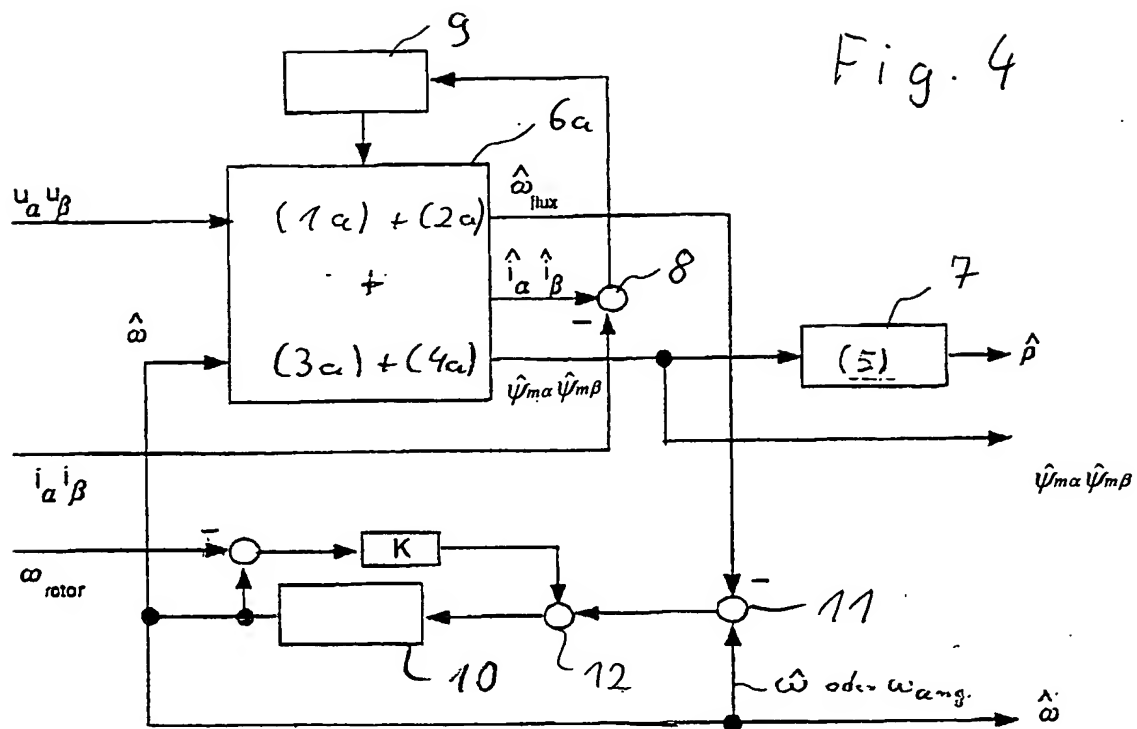


Fig. 5

